ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA
VOL. XIX, 9 SECTIO H 1985

Zakład Ekonomiki Przemysłu
Wydziału Ekonomicznego UMCS

Leopold Tadeusz BRZYSKI

Uwagi o możliwości usprawnienia analizy i prognozowania pracochłonności produkcji seryjnej

Remarks on the Possibility of Improving the Analysis and Forecasting of Labour Consumption of Serial Production

Заметки о возможностях усовершенствования анализа и прогнозирования трудоемкости серийного производства

Funkcjonowanie organizacji gospodarczych w oparciu o „samodzielność, samorządność i samofinansowanie" ukierunkować ma przedsiębiorstwa na produkcję wyrobów nowoczesnych, jakościowo dobrych i przy uwzględnieniu możliwie niskich kosztów. Problematykę tę pozornie oczywistą komplikuje fakt, że w dużych organizacjach gospodarczych można osiągnąć dobre efekty tylko wtedy, gdy działalnością usprawniającą obejmuje się szeroki krąg działalności gospodarczej przy uwzględnieniu precyzyjnego rachunku. Przykładowo wymienić tu można takie dziedziny, jak małe formy postępu techniczno-ekonomicznego, zakup i remonty maszyn, uruchomienia produkcji nowych wyrobów, produkcję narzędzi, przyrządów itp.

W tym miejscu wypada przypomnieć, że pełna samodzielność przedsiębiorstw nie występuje nigdzie na świecie. Samofinansowanie również nie oznacza, że warunkiem uzyskania kredytu, np. na uruchomienie produkcji lub zwiększenie zdolności produkcyjnej, jest możliwość jego spłaty. W takich warunkach — dotyczy to również naszego kraju — szczególnego znaczenia nabiera metodyka sporządzania rachunków w zakresie przewidywania zmian jakości i nowoczesności wyrobów, cen i kosztów produkcji. Na ostatnie z wymienionych zagadnień ma wpływ pracochłonność. Ona bowiem stanowi podstawę do obliczania kosztów robo-

cizny bezpośredniej, ustalania rozmiarów zatrudnienia, przy jej pomocy nalicza się koszty pośrednie itd. Precyzyjne przewidywanie jej ma więc duże znaczenie dla racjonalnego gospodarowania, przy czym wiadomym jest, że w produkcji seryjnej uzyskanie dużej precyzji nie jest łatwe. Najogólniej rzecz biorąc ma to uzasadnienie w tym, że pracochłonność jednostkowa na wykonanie kolejnych wyrobów w serii systematycznie maleje, tj. najwyższą pracochłonność posiada wyrób oznaczony nr 1., a każdy następny niższą od poprzedniej. Różnica między nakładami pracy żywej na wyrób n i n+1 jest obniżką pracochłonności jednostkowej i może być również wyrażona jako wielkość względna.

Przyczyn kształtujących tę prawidłowość jest wiele. Najistotniejsze to:

1) kwalifikacje pracowników sprzyjające szybkiemu narastaniu wprawy,

2) jakość, ilość i kompletność oprzyrządowania,

3) techniczne i organizacyjne przygotowanie nowej produkcji,

4) jakość, nowoczesność i uniwersalność parku maszynowego przekazywanego z produkcji wyrobów o zmniejszonym zapotrzebowaniu społecznym do realizacji nowych zadań,

5) zaopatrzenie w materiały i narzędzia handlowe itd.

Suma oddziaływań wszystkich czynników — w tym wymienionych — wpływa na prawidłowość kształtowania się pracochłonności jednostkowej wyrobów w serii, którą można wyrazić za pomocą matematycznych symboli.

W literaturze przedmiotu podaje się kilka metod możliwych do zastosowania. Skromne są natomiast informacje, w jaki sposób metody te mogą być stosowane w przemyśle i jaką charakteryzują się precyzją potwierdzoną badaniami empirycznymi.

Wyniki uzyskane przez autora i już opublikowane upoważniają do twierdzenia, że dużą sprawdzalność prognoz — w produkcji samolotów — można uzyskać przy zastosowaniu metody Wrighta[1] (1, 2, 3):

$$t_n = t_1 \cdot n^{-a} \qquad (1)$$

gdzie:

t_n — pracochłonność jednostkowa wyrobu oznaczonego w serii kolejnym numerem n,

t_1 — pracochłonność pierwszego wyrobu w serii,

n — numer kolejny wyrobu w serii,

a — wykładnik potęgowy.

[1] L. T. Brzyski: *Prognozowanie pracochłonności produkcji średnioseryjnej.* „Ekon. i Organ. Pracy" 1973, nr 6, s. 260—264; L. T. Brzyski: *Analiza i prognozowanie pracochłonności produkcji średnioseryjnej dla wydziałów produkcyjnych* „Ekon. i Organ. Pracy, 1973, nr 9, s. 394—397; L. T. Brzyski: *Metody statystyczne w analizie i prognozowaniu działalności przedsiębiorstw.* PWE, Warszawa 1977.

Formuła poprzez wykładnik (—a) wyraża siłę oddziaływania czynników — już wymienionych — na tendencję spadku pracochłonności jednostkowej. Tę względną obniżkę można wyrazić jako stały stosunek czasu wykonania wyrobu o liczbie porządkowej 2n do czasu wykonania wyrobu o liczbie porządkowej n:

$$\frac{t_{2n}}{t_n} = \frac{t_1(2n)^{-a}}{t_1 n^{-a}} = 2^{-a} = G \qquad (2)$$

gdzie:

G — wskaźnik redukcji czasu jednostkowego,

— pozostałe oznaczenia jak we wzorze powyżej.

Wzór (2) uzasadnia, że przy stałej względnej obniżce pracochłonności jej bezwzględna wielkość systematycznie maleje w miarę wzrostu liczby wyprodukowanych w serii wyrobów (wzór 1). Ta prawidłowość uzasadnia przydatność metody niezależnie od typu rozpatrywanej produkcji seryjnej. Zmienny będzie jedynie zakres jej stosowania. Przykładowo w produkcji średnioseryjnej, gdzie liczba wyrobów jest stosunkowo niewielka, bezwzględny spadek pracochłonności jednostkowej na ostatnim wyrobie może być znaczny.

W produkcji wielkoseryjnej, gdzie proces technologiczny charakteryzuje się większym zmechanizowaniem prac, użyteczność metody sprowadza się do takiego zakresu ilościowego produkcji, w którym obniżka pracochłonności stanowi istotny element rachunku.

Metoda, o której, mowa została sprawdzona w oparciu o produkcję samolotów. Wyniki badań przeprowadzonych w naszym kraju ujmują publikacje 1, 2, 3 i 4. Ostatni z wymienionych artykułów obejmuje produkcję łożysk tocznych. Badaniem objęto pracochłonność produkcji dwu łożysk tocznych bardzo drogich. Wyniki tych badań przyjęto dla ilustracji zagadnień omawianych w niniejszym opracowaniu. Oto one.

Na podstawie formuły (1) i pracochłonności empirycznej wyrobów A i B ustalono wykładniki charakteryzujące spadek pracochłonności jednostkowej kolejnych wyrobów w serii. Dalej przy zastosowaniu wzoru (3) wyliczono pracochłonność całkowitą dla poszczególnych partii:

$$Q_n = -t_1 \frac{1+a}{2(1-a)} + t_1 \frac{n^{-a}}{2} + t_1 \frac{n^{1-a}}{1-a} \qquad (3)$$

gdzie:

Q_n — pracochłonność całkowita wyrobów w granicach produkcji od 1 do n,

— pozostałe oznaczenia jak we wzorach powyżej.

Odchylenia procentowe od pracochłonności empirycznej zestawiono w tab. 1 i 2 (kolumna 5). Informują one o systematycznie zwiększającej

Tab. 1. Zestawienie odchyleń pracochłonności empirycznej od teoretycznej — wyroby A, A′

Specification of departures of empirical labour consumption from the theoretical one — products A, A′

Symbol wyrobu	Ilość wyrobów		$\frac{t_n}{t_1}$ 100	Odchylenie Q′ w %	Dane teoretyczne			Odchylenie Q′ w %	Metoda M. P. Guiberta
	od 1 do n	w partii			t_1	a	G		
A′	1	1	100,0	0,00	—	—	—	—	—
	18	17	43,9	23,23	48,8	0,06623	95,5	0,05	30,76
	52	34	39,7	5,07	50,3	0,06038	95,9	−0,01	5,13
	87	35	34,3	−0,79	58,9	0,12111	91,9	−0,01	−2,36
	107	20	26,4	0,00	97,8	0,28054	82,3	−0,02	−1,80
	117	10	26,1	0,00	94,2	0,26931	82,9	0,01	−1,68
	137	20	25,0	0,22	93,6	0,26828	83,0	0,00	−1,21
a = 0,2816		G = 82,2		—	—	—	—	—	—
A	1	1	100,0	—	—	—	—	—	—
	8	7	75,2	−8,79	81,2	0,04189	97,1	−0,12	−0,44
	17	10	45,3	−0,59	53,5	0,05854	96,0	22,59	5,80
	51	34	36,9	0,67	59,4	0,12144	91,9	5,68	0,80
	55	4	33,1	0,58	55,4	0,12884	91,5	4,40	0,34
a = 0,2816		G = 82,2		—	—	—	—	—	—

Tab. 2. Zestawienie odchyleń pracochłonności empirycznej od teoretycznej — wyroby B, B′

Specification of departures of empirical labour consumption from the theoretical one — products B, B′

Symbol wyrobu	Ilość wyrobów		$\frac{t_n}{t_1}$ 100	Odchylenie Q′ w %	Dane teoretyczne			Odchylenie Q′ w %	Metoda M. P. Guiberta
	od 1 do n	w partii			t_1	a	G		
B	1,0	1,0	100,0	26,44	—	—	—	—	—
	7,1	6,1	86,2	25,58	87,0	0,02211	98,5	3,45	4,61
	19,2	12,1	83,9	11,13	88,6	0,01847	98,7	0,00	−1,03
	34,4	15,2	83,4	2,94	87,4	0,01330	99,1	0,00	−5,55
	51,0	16,6	76,7	0,00	98,9	0,06473	95,6	0,00	−6,19
	69,2	18,2	68,5	−0,25	117,1	0,12649	91,6	0,00	−5,57
	82,0	12,8	64,5	−0,03	127,5	0,15467	89,8	0,00	−3,32
	88,0	6,0	63,9	−0,01	126,4	0,15232	90,0	0,00	−2,68
	a = 0,1523	G = 90,2		—	—	—	—	—	—
B′	1,0	1,0	100,0	26,44	—	—	—	—	—
	4,0	3,0	98,7	22,00	99,8	0,00797	99,5	−0,47	−3,54
	11,5	7,5	92,2	8,77	97,6	0,02086	98,6	0,55	−6,22
	21,7	10,2	81,9	5,35	92,2	0,03839	97,4	0,95	−5,71
	32,1	10,4	78,6	2,99	94,5	0,05626	96,2	3,66	−5,83
	a = 0,1523	G = 90,2		—	—	—	—	—	—

się precyzji dopasowania — krzywych, teoretycznej do empirycznej — z ilością wyprodukowanych wyrobów. Prawidłowość tę obserwowano również w badaniu produkcji lotniczej, jednak na podstawie tych badań trudno ustalić wzorce dla poszczególnych okresów produkcji. Przykładowo tabele 1 i 2 informują o znacznych odchyleniach pracochłonności empirycznej od teoretycznej, dla początkowego okresu produkcji [2]. Na problematykę tę zwrócili uwagę i ukierunkowali swe badania M. P. Guibert i J. R. de Jong.[3] Pierwszy z wymienionych wyróżnia w produkcji seryjnej okres rozruchu i produkcji ustabilizowanej, przy czym uważa, że długość okresu rozruchu mierzona ilością wyprodukowanych wyrobów zależy od wielkości serii. Jego badania wskazywały (5), że zależność tę można wyrazić wzorem

$$a = (7\% \pm 1\%)\, S \qquad (4)$$

gdzie:

a — rozmiary produkcji w okresie rozruchu, przy czym 8% do 1000 szt. i 6% dla serii powyżej 500 szt.,
S — wielkość serii.

M. P. Guibert przyjmuje, że koniec rozruchu następuje wtedy, gdy w jednakowych odstępach czasu (dzień, tydzień, miesiąc) ilość wyprodukowanych wyrobów ustali się na tym samym poziomie. Dla obliczania czasu jednostkowego proponuje wzór:

$$t_n = \varphi_n\, t_r \qquad (5)$$

gdzie:

t_n — pracochłonność wyrobu oznaczonego kolejnym numerem n,
φ_n — współczynnik czasu jednostkowego,
t_r — pracochłonność pierwszego wyrobu z produkcji ustabilizowanej, numer tego wyrobu ustala się przy zastosowaniu formuły (4).

Wyniki przeprowadzonego badania przy zastosowaniu tej metody zestawiono również w tabeli 1 i 2.

J. R. de Jong 4 przyjmuje założenie dla zwiększenia precyzji rachunku, że czynności wykonane przy produkcji wyrobu dzielą się na takie, których czas wykonania maleje w miarę wzrostu ilości kolejno wykonanych wyrobów w serii i takie, dla których czas wykonania jest stały, nie-

[2] L. T. Brzyski, Z. Ostrowski: *O przydatności praktycznej metody T. P. Wrighta, M. P. Guiberta i J. R. de Jonga w analizie ekonomicznej przedsiębiorstw przemysłu maszynowego.* Annales UMCS, sectio H, vol. XV, Lublin 1981.

[3] C. Szpaczyński: *Wybór metod określania pracochłonności wyrobów w okresie rozruchu produkcji.* IOPM, Studia i materiały, nr 4, Warszawa 1968.

zależny od nabywanej wprawy w miarę ilości wyprodukowanych wyrobów w serii. Przy tym założeniu proponuje wyliczać pracochłonność jednostkową przy zastosowaniu następującej formuły

$$t_n = t_1\left(m + \frac{1-m}{n^a}\right) \tag{6}$$

gdzie:

t_n — pracochłonność jednostkowa wyrobu, oznaczona w serii kolejnym numerem n,
t_1 — pracochłonność pierwszego wyrobu w serii, obliczana: $t_1 = mt_1 + (1-m)\,t_1$,
m — współczynnik określający czas podlegający redukcji,
(1—m) — współczynnik dla czasu nie ulegającego redukcji, przyjmuje się, że 0 m 1.

Wyliczona przy zastosowaniu tej metody pracochłonność całkowita różniła się znacznie od empirycznej.

Dla zwiększenia precyzji dopasowania zastosowano więc krzywe teoretyczne o zmiennych wykładnikach (a), otrzymywanych według formuły:

$$-a = -1 + \frac{t_n}{T_n} \tag{7}$$

gdzie:

T_n — pracochłonność średnia,
— pozostałe oznaczenia jak we wzorach powyżej.

Rachunek przy zastosowaniu formuły (7) wymaga wprowadzenia teoretycznej pracochłonności t_1 uzyskiwanej przy zastosowaniu przekształconego wzoru (1).

Wyniki takiego badania zestawiono również w tabeli 1 i 2, gdzie w kolumnie 6 podano procentowy stosunek teoretycznej pracochłonności t_1 do rzeczywistej. Kolumna 9 informuje o odchyleniach pracochłonności empirycznej od teoretycznej. Pozostałe wskaźniki nie wymagają dodatkowych wyjaśnień.

Wyniki tego badania potwierdzają systematyczny wzrost wskaźnika (a) ze wzrostem ilości wyprodukowanych wyrobów w serii, co ma bardzo istotne znaczenie dla:

1) precyzji prowadzonych ocen. Można bowiem na podstawie pracochłonności produkcji wykonanej, ustalić wykładnik (a) i przy jego zastosowaniu wyznaczyć wzorce dla produkcji planowanej do wykonania w okresie przyszłym.

2) zwiększenia precyzji planowania produkcji. W tym jednak przypadku zachodzi konieczność wyznaczenia zależności zmian wykładnika (a) od ilości wyprodukowanych wyrobów w serii. Intuicyjnie wyczuwa się możliwość zastosowania interpolacji lub metody najmniejszych kwadratów.

W tym miejscu powróćmy do uwag wcześniejszych o wykładniku (a). Mianowicie wspomniano tam, że może być on traktowany jako zintegrowany miernik oceny przedsiębiorstwa, charakteryzujący jego prężność organizacyjną, posiadany park maszynowy i jego uniwersalność, kwalifikacje robotników, oraz umiejętności i operatywność biur konstrukcyjnych, prężność służb zaopatrzenia itd. Słowem wykładnik ten jest odzwierciedleniem wszystkich tych czynników, które decydują o stopniu realizacji czasu jednostkowego kolejnych wyrobów w serii. Wykracza to więc poza propozycje J. R. de Jonga i jednocześnie wydaje się spełniać w większym stopniu to, do czego zmierza M. P. Guibert. Staje się to jeszcze bardziej oczywiste, jeśli otrzymane wyniki miałyby być wykorzystane w projektowaniu krzywej spadku pracochłonności dla wyrobu technologicznie i konstrukcyjnie podobnego, którego produkcja ma być rozpoczęta. Producent działa bowiem w określonych warunkach otoczenia i one muszą być uwzględnione w projektowaniu kosztów produkcji i cen wyrobu, przy których ustalaniu podstawowe znaczenie ma pracochłonność. Jej spadek, określony wykładnikiem a, jest powodowany z jednej strony potencjałem produkcyjnym już posiadanym, który poprzez zdolność przystosowawczą powodował obniżkę pracochłonności, a z drugiej — jak wiadomo — przedsiębiorstwo wydatkuje znaczne sumy na realizację projektów racjonalizatorskich, zakup maszyn, produkcję oprzyrządowania, narzędzi itd., w wyniku czego uzyskuje obniżkę pracochłonności. Oczywiście trudne jest wydzielenie części wykładnika jaka związana jest z wpływem oddziaływania każdego z wymienionych czynników. Można je jednak umownie zakwalifikować do dwu grup, z których pierwsza ujmuje warunki produkcji w momencie jej rozpoczęcia, a druga charakteryzuje proces narastania wprawy. Takie założenie sprowadza trudną problematykę do rachunkowo bardzo prostego badania granic zmienności wykładnika i rozmiarów produkcji w ujęciu ilościowym, tj. analogicznie jak przy podziale kosztów pośrednich na stałe i zmienne. Dla wyrobu „A" otrzymuje się:

$$a = 0,03567 + 0.00169n \qquad (8)$$

gdzie:

a — wykładnik,

b — ilość wyprodukowanych wyrobów.

Reasumując należy stwierdzić, że odchylenia od rzeczywistej pracochłonności otrzymane przy zastosowaniu każdej z omawianych metod mieszczą się w granicach dopuszczalnych w przedsiębiorstwie. Największą jednak przydatność wykazuje metoda Wrighta przy uwzględnieniu zmiennych wykładników.

РЕЗЮМЕ

На основании анализа трудоемкости производства двух подшипников (очень дорогих) было установлено, что среди нескольких методов производства наибольшая точность достигается применением метода Райта. При этом повышение точности подгона растет по мере роста количества произведенных изделий. В связи с этим выдвинуто предложение применять переменные показатели формулы Райта.

Названное усовершенствование имеет весьма существенное значение для точности проводимых анализов. Кроме того, переменные показатели могли бы усовершенствовать прогнозирование трудоемкости производства изделий, подобных в технологическом и конструкционном планах. Исходя из сказанного, было выдвинуто предложение, чтобы при применении метода крайних отклонений произвести разделение показателя на постоянную и переменную части. Таким образом достигается не только уменьшение и некоторая механизация вычислений, но и повышение точности прогнозирования.

SUMMARY

On the basis of the analysis of labour consumption of the production of two rolling bearings — very expensive ones — it was found out that out of several methods, the greatest precision was obtained with the use of Wright's method. It was also observed that increase of the precision of fitting rises with the increase of the number of articles produced. Therefore, application of changeable indices of Wright's formula was proposed.

This improvement is very significant for the precision of analyses carried out. Variable indices could also improve the forecasting of labour consumption of goods similar in respects of technology and construction. Therefore, it was suggested that a division of the index should be accomplished into constant and changeable parts with the application of the method of extreme deviations. In this way, it is possible not only to diminish and "mechanize" accounting activities, but to increase the precision of forecasting, as well.